INFLUENCIA DEL AGREGADO DE ENMIENDAS BÁSICAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE ALFALFA *(Medicago sativa* L.*)* EN ÁMBITOS TEMPLADOS ARGENTINOS

MABEL VÁZQUEZ; ANTONINO TERMINIELLO; ANDRÉS CASCIANI; GUILLERMO MILLÁN; PABLO GELATI; FACUNDO GUILINO; JULIO GARCÍA DÍAZ; JAVIER KOSTIRIA & MIRTA GARCÍA

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. CC31. La Plata (CP 1900). Correo electrónico: mvazquez@agro.unlp.edu.ar

Recibido: 15-02-10
Aceptado: 13-11-10

RESUMEN

Causas naturales y antrópicas producen la acidificación de suelos de ámbitos templados, provocando deficiencias/desbalances de nutrientes básicos, particularmente Ca y Mg. El tratamiento del problema requiere de experimentación regional, a los fines de brindar pautas para la elección del corrector, dosis y forma de aplicación. El objetivo del trabajo fue comparar el rendimiento de alfalfares de tres ámbitos de la región templada argentina, su contenido en nutrientes básicos y las modificaciones edáficas causadas por distintas dosis/tipos de enmiendas. Se realizaron dos ensayos en suelos Argiudol típico y uno en Hapludol éntico de las provincia de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 700 ó 1.000, 1.500 y 2.000 kg ha^{-1} de conchilla/caliza (C) y dolomita (D), según el sitio. Se evaluó el efecto de la aplicación conjunta de 200 kg ha^{-1} de yeso. Se determinó rendimiento en materia seca, contenido foliar de Ca y Mg y el efecto sobre propiedades edáficas. Las menores dosis (700-1.000 kg ha^{-1}), solas o con yeso, produjeron los mayores aumentos de rendimiento. Dichos aumentos fueron de 9, 16,5 y 18,8% respecto del testigo, para los ensayos de Santa Fe (C1000; 6 cortes), Buenos Aires (C1000, 5 cortes) y Córdoba (C700, 10 cortes), respectivamente, y de 11,7; 14,4 y 9,1% respecto del testigo, para los ensayos de Santa Fe (D1000), Buenos Aires (D1000) y Córdoba (D700), respectivamente. La residualidad se extendió durante todo el tiempo evaluado (27 meses). Los tratamientos no produjeron mayores diferencias en las concentraciones foliares de Ca y Mg, aunque los mismos aumentaron la oferta de ambos nutrientes por unidad de superficie a expensas del aumento de rendimiento, con máximos de 9,4 kg ha^{-1} de Ca y 7,6 kg ha^{-1} de Mg. Al cabo de dos años de encalados, los suelos aún consignaron efectos en la reducción de la acidez actual (0,1-1,1 unidades de pH), como en la acidez potencial (0,1-0,9 unidad de pH) en la capa superficial. La capacidad de intercambio catiónica aumentó de 0,2 a 5,3 cmol kg^{-1}, y el Ca intercambiable hasta un máximo de 2,6 cmol kg^{-1}. Se registró un efecto negativo del encalado sobre el contenido de P extractable, sugiriendo la necesidad de acompañar la práctica con diagnósticos de este elemento.

Palabras clave. Caliza, conchilla, dolomita, yeso, dosis, complejo de cambio

BASIC AMENDMENT APPLICATION EFFECTS ON ALFALFA PRODUCTION IN ARGENTINE TEMPERATE AREAS

ABSTRACT

Natural and anthropic factors may produce soil acidification in temperate areas, causing deficiencies/unbalances of basic nutrients, particularly Ca and Mg. This problem requires regional experimentation to generate regulations for the election of the amendment, rate and application form. The aim of this study was to compare the alfalfa yield of three areas in the argentine temperate region, the basic nutrient concentration in the plants, and the changes in edaphic properties caused by the different rates and types of amendments. Two trials were conducted in Typic Argiudolls and one in an Entic Hapludoll of Buenos Aires, Santa Fe and Córdoba provinces. The treatments consisted in the application of 0 and 700, or 1,000, 1,500 and 2,000 kg ha^{-1} of shell/calcite and dolomite, according to the site. The effect of the additional application of 200 kg ha^{-1} of gypsum was evaluated. Alfalfa dry matter yield, foliar concentration of Ca and Mg and the effect of the treatments on edaphic properties were measured. The smaller rates (700-1,000 kg ha^{-1}), with or without gypsum, produced the greatest yield increases. These increases were of 9, 16.5 and 18.8% respect to the control, for the trial of Santa Fe (C1000; 6 harvests), Buenos Aires (C1000, 5 harvests) and Córdoba (C700, 10 harvests), respectively, and of 11.7; 14.4 and 9.1% respect to the control, for the trial of Santa Fe (D1000), Buenos Aires (D1000) and Córdoba (D700), respectively. The residuality extended all along the evaluation time (27 months). The treatments did not produce mayor differences in the foliar concentrations of Ca and Mg, although they increased the availability of both nutrients per area unit at the expense of the increase of yield, with maximums of 9.4 kg ha^{-1} of Ca and 7.6 kg ha^{-1} of Mg. After two years of liming, the soils still showed the effects in the reduction of the real acidity (0.1-1.1 pH units) and in the potential acidity (0.1-0.9 unit of pH) in the superficial layer. The cationic exchange capacity increased from 0.2 to 5.3 cmol kg^{-1}, and the exchangeable Ca up to a maximum of 2.6 cmol kg^{-1}. Liming produced a negative impact on the extractable P levels, suggesting the need to monitor P levels when following this practice.

Key words. Calcite, shell, dolomite, gypsum, exchange complex

INTRODUCCIÓN

En gran parte de la región templada argentina, y dentro de ella particularmente en la Pradera Pampeana, la actividad ganadera se realiza sobre pastizales naturales y pasturas cultivadas, en ambos casos con amplia difusión de especies leguminosas. La intensificación de este tipo de producción, con su consecuente alta exportación de nutrientes y la baja reposición de los mismos, particularmente los de naturaleza básica (K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+}), caracterizados, además, por carecer de reposición natural, trae como consecuencia la desprovisión y desbalance nutricional para estos cultivos, acelerando el proceso de acidificación edáfica. En zonas de clima templado, la exportación de estos elementos a través de los granos y otros cultivos de cosecha, así como de actividades ganaderas de carne o leche, prolongadas e intensivas, es una de las causas principales de la acidificación (Vázquez *et al.*, 2000; Lemenih *et al.*, 2004; Bordoli & Casanova, 2004; Bordoli, 2005; Barbazán *et al.*, 2008; Gelati & Vázquez, 2008). A este proceso antrópico se le adiciona la lixiviación natural de las bases, particularmente alta en suelos de textura gruesa, la aplicación de fertilizantes de alto índice de acidez, como la mayor parte de los nitrogenados, la expansión de la siembra directa, con su acumulación de materia orgánica en superficie (Burle *et al.*, 1997; Tang, 1998), entre otros. Si bien los suelos de textura gruesa fueron los primeros en manifestar esta problemática, debido a su baja reserva de bases, la misma hoy se encuentra difundida en suelos de otras clases texturales, a causa de los antecedentes de uso antes citados (Vázquez, 2005).

Las plantas presentan diferente tolerancia a la acidez de los suelos, siendo las leguminosas, especialmente la alfalfa (*Medicago sativa* L.), por sus requerimientos nutricionales, una especie sensible. La implantación, producción y persistencia de los alfalfares se ven afectados, particularmente por sus altos requerimientos de Ca y Mg. Se considera un rango de pH óptimo para la especie el comprendido entre 6,0 y 6,5, a la vez que porcentajes de saturación superiores al 80% (Morón, 2000). La disminución de los nutrientes básicos y sus desbalances, son tratados con la aplicación de enmiendas básicas. Esta es una de las primeras prácticas que utilizó el hombre para corregir las propiedades químicas de los suelos (Brady & Weil, 1999). En la producción agropecuaria argentina, particularmente en ámbitos subtropicales, se utilizan productos como la caliza y la dolomita, los que proveen Ca o Ca y Mg, respectivamente. En menor proporción se utiliza yeso, que al comportarse como una base de Lewis, promueve la precipitación del Al, reduciendo la toxicidad característica de este elemento en suelos ácidos. Esta última enmienda también podría ser utilizada en planteos de siembra directa como una fuente rápida de Ca más soluble y con potencial acción solubilizadora de los carbonatos contenidos en calizas y dolomitas (Santos Sbuscio *et al.*, 2009), dado el reducido movimiento en profundidad de los carbonatos en el mediano plazo (Caires *et al.*, 2008). Los cationes básicos cumplen, además de funciones nutricionales para las plantas, acciones positivas sobre las condiciones físicas del suelo, en su calidad de cationes estructurantes. Es así que disminuyen la resistencia a la penetración, facilitando la dinámica del aire y del agua, habitualmente comprometidas en suelos con larga historia productiva (Vázquez *et al*., 2009). La corrección de la acidez pone en disponibilidad otros nutrientes, tales como el P, promueve la fijación biológica del N, entre otras razones, por poner en disponibilidad al Mo, elemento que actúa como cofactor de la nitrogenasa, y favorece la mineralización (García *et al.*, 2003).

El proceso químico que desarrollan los productos carbonatados en el suelo es una reacción de neutralización, facilitando la precipitación del Al^{+3} por encima de pH 5,5, a la vez que aportan Ca y/o Mg, con efectos directos e indirectos sobre el crecimiento de estas especies.

En la elección de los productos y dosis a aplicar, deben tenerse en cuenta factores tales como la acidez actual y potencial de los suelos, el poder buffer de los mismos, la capacidad de intercambio catiónico y su porcentaje de saturación básica, las relaciones entre cationes, en un marco de condiciones climáticas determinadas. A su vez, deben considerarse paralelamente, las características de los productos correctores, como su poder de neutralización, velocidad de reacción, pureza y tamaño de partícula, entre otros. En general, se aplican unos meses antes de la siembra para facilitar su solubilización y poseen un efecto residual, cuya duración varía y depende de los mismos factores mencionados anteriormente (Vázquez *et al*., 2009).

Dada la complejidad de la relación corrector-suelo-planta descripta, es necesario ajustar la tecnología de la práctica para cada sistema, particularmente en los ámbitos templados, donde la problemática es reciente y por lo tanto, se cuenta con menor información.

Se plantea como hipótesis que el agregado de enmiendas cálcicas o cálcico-magnésicas aumenta la productividad de la alfalfa, su calidad forrajera y propicia la recuperación de la fertilidad edáfica de naturaleza química. Estos efectos benéficos son variables de acuerdo a la dosis y tipo de corrector empleado, según las propiedades edáficas.

El objetivo del presente trabajo fue comparar el rendimiento de materia seca en alfalfares de tres ámbitos de la región templada argentina, su contenido en nutrientes básicos y las modificaciones edáficas causadas por distintas dosis y tipos de enmiendas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales de las áreas y ensayos experimentales

El trabajo fue realizado en tres localidades ubicadas en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Las características generales de las áreas de estudio y los ensayos realizados se detallan a continuación:

- Provincia de Buenos Aires. Partido de La Plata, localidad de Los Hornos (34º50' LS y 57º45' LO). Se trata de un área de relieve normal, transicional entre la Pampa Ondulada y la zona ribereña. En su conjunto forma suaves lomadas loéssicas, con pendientes inferiores al 1%. Se trata de una zona de clima subhúmedo mesotérmico, con 1.000 mm de precipitación anual, con temperatura media de 17 ºC (Lanfranco, 1970). El suelo bajo ensayo está clasificado como Argiudol típico Familia arcillosa fina illítica térmica (Lanfranco, 1970). Los antecedentes de uso incluyen rotaciones de pasturas y cultivos de cosecha anual. Los datos analíticos del perfil se muestran en la Tabla 1.

El ensayo fue realizado según un diseño completamente al azar con arreglo factorial (tipo y dosis de corrector) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Las parcelas experimentales fueron de 50 m^2 de superficie, separadas por calles de 1,3 m. Los tratamientos consistieron en la aplicación de dosis equivalentes a 0, 1.000, 1.500 y 2.000 kg ha^{-1} de conchilla (CaO_2 53,8%) (Símbolos: T, C1000, C1500, C2000) y dolomita (CaO_2/MgO_2 24% y 22%, respectivamente) (Símbolos: D1000, D1500, D2000), ambos con granulometría comparable (<75 µm: 27%, 75-250 µm: 40,5%, >250 µm: 32,5%). Los correctores fueron aplicados al voleo con incorporación mecánica, dos meses antes de la siembra. Se realizó una siembra primaveral de alfalfa var DK 191 (grupo 9), previamente inoculada con *Rhizobium meliloti*, a razón de 12 kg ha^{-1}, en octubre de 2001. Se fertilizó con 150 kg ha^{-1} de superfosfato triple. Se evaluó rendimiento de materia seca (60 ºC), a través de 4 submuestras/parcela de 0,25 m^2 cada una, a lo largo de cinco cortes por sobre la corona, a partir de la primavera del año siguiente hasta otoño de 2003, al estado de 10% de floración, descartando un efecto de bordura de 1 m.

Al cabo de 2 años de la aplicación de los productos correctores se tomaron muestras de suelo a intervalos de 20 cm y hasta los 60 cm de profundidad, mediante muestra compuesta de tres submuestras (una por parcela y repetición).

- **Provincia de Córdoba**. Partido de Laboulaye, localidad de Adelia María (33°38' LS y 63°49' LO). Se trata de una planicie de relieve suavemente ondulado del sur de la provincia, constituida por sedimentos eólicos franco arenosos finos. El ensayo se realizó sobre un Hapludol éntico, cuyas características se detallan en la Tabla 2. Se trata de un establecimiento de actividad tambera con rotaciones de pasturas a base de alfalfa y verdeos. El

Tabla 1. Propiedades del suelo de Los Hornos, partido de La Plata, provincia de Buenos Aires (Argiudol típico).
Table 1. Soil properties of Los Hornos, La Plata Disctrict, Buenos Aires Province (Typic Argiudol).

Horizonte	Ap	A	2 B_{t1}	$2B_{t2}$	$3BC_1$	$3BC_2$	$3BC_3$	3C
prof. (cm)	0-14	14-25	25-40	40-70	70-110	110-165	165-190	190-+200
Ct (mg g^{-1})	13,9	-	-	-	-	-	-	-
Nt (mg g-[1])	1,68	-	-	-	-	-	-	-
Arcilla (g kg^{-1})	207	207	489	490	486	310	205	223,4
Limo (g kg^{-1})	504	519	394	370	313	490	528	534
Arena (g kg^{-1})	289	274	115	132	198	201	210	242
Clase textural (1)	frL-fr	frL-fr	a-aL	a	a	fra-fraL	frL	frL
pH actual	5,1	5,1	5,5	6,2	6,5	6,5	6,2	6,4
pH potencial	5,0	5,0	5,1	5,4	-	-	-	-
Cationes intercambio								
Ca ($cmol_c$ kg^{-1})	12,1	11,3	14,2	19,6	22	19,3	17,3	12,1
Mg ($cmol_c$ kg^{-1})	1,1	2,1	3,5	4,7	4,2	5,1	4,9	1,1
Na ($cmol_c$ kg^{-1})	0,1	0,1	1	0,9	1	0,4	0,4	0,1
K ($cmol_c$ kg^{-1})	1,2	1,2	0,9	1	2	1,6	1,6	1,2
Suma de bases ($cmol_c$ kg^{-1})	14,5	14,7	14,2	19,6	29,2	26,4	24,2	14,5
CIC ($cmol_c$ kg^{-1})	14,3	14,3	19,7	28,3	30,3	28	25	14,3
Al int (mg kg^{-1})	0,11	-	-	-	-	-	-	-
Saturación de las bases (%)								
Ca^{2+}	83,4	76,9	72,4	74,8	75,3	73,1	71,5	83,4
Mg^{2+}	7,6	14,3	17,9	17,9	14,4	19,3	20,2	7,6
K^+	8,3	8,2	4,6	3,8	6,8	6,1	6,6	8,3
Saturación Básica Total (V) (%)	100	100	99,5	92,6	96,4	94,3	96,8	101,4

(1) f: franco, a: arcilloso, L: limoso.

Tabla 2. Propiedades del suelo de Adelia María, partido de Laboulaye, provincia de Córdoba (Hapludol éntico).

Table 2. Soil properties of Adelia María, Laboulaye Disctrict, Córdoba Province (Entic Hapludol).

Horizonte	Ap	A	AC_1	AC_2	AC_3
prof. (cm)	0-23	23-31	31-50	50-78	78-107
Ct (mg g^{-1})	12	-	-	-	-
Nt (mg $g-^1$)	0,12	-	-	-	-
Arena (g kg^{-1})	493	528	548	568	568
Limo (g kg^{-1})	400	400	380	380	370
Arcilla (g kg^{-1})	107	72	72	52	62
Clase textural (1)	fr-frA	frA-fr	frA-fr	frA	frA
pH actual (1:2,5)	5,1	6,4	6,5	6,6	7,9
pH potencial (1:2,5)	4,4	5,3	5,6	5,7	7,1
Cationes intercambio					
Ca^{2+} ($cmol_c.kg^{-1}$)	6,3	6,9	7,0	6,3	-
Mg^{2+} ($cmol_c.kg^{-1}$)	1,0	2,2	2,0	2,3	3,5
Na^+ ($cmol_c.kg^{-1}$)	0,2	0,2	0,3	0,4	2,5
K^+ ($cmol_c.kg^{-1}$)	2,3	1,8	2,3	1,8	3,2
Suma de bases ($cmol_c.kg^{-1}$)	9,8	11,1	11,6	10,8	-
Al^{3+} (mg kg^{-1})	1,12	-	-	-	-
CIC ($cmol_c.kg^{-1}$)	11,5	13,0	12,8	9,1	10,1
Saturación de las bases (%)					
Ca^{2+}	64,3	62,2	60,3	58,3	-
Mg^{2+}	10,2	19,8	17,2	21,3	-
K^+	23,5	16,2	19,8	16,7	-
Saturación Básica Total (V) (%)	85,2	85,4	90,6	-	-

(1) f: franco, A: arenoso.

clima es templado continental, la temperatura media de enero es de 23 °C (serie 1961-1990) y la de julio de 9 °C. La precipitación media anual es de 805,4 mm, con abundantes lluvias desde mediados de primavera hasta mediados del otoño y escasas precipitaciones en invierno (Servicio Meteorológico Nacional, 1992).

Se realizó un ensayo con diseño en bloques completos aleatorizados con arreglo factorial (tipo y dosis de corrector), con parcelas divididas de 63 m^2 (con y sin yeso) y tres repeticiones. Los correctores utilizados fueron caliza (CaO 33,6%), dolomita (CaO/MgO, 24% y 22%, respectivamente), ambos con la siguiente proporción granulométrica (<75 µm: 27%, 75-250 µm: 40,5%, >250 µm: 32,5%). Las dosis utilizadas fueron equivalentes a 0, 700, 1.500 y 2.000 kg ha^{-1} de producto. Mitad de cada parcela fue tratada adicionalmente con el equivalente a 200 kg ha^{-1} de yeso ($CaSO_4.2H_2O$) (Símbolos: T, C700, C700y, C1500, C1500y, C2000, C2000y, D700, D700y, D1500, D1500y, D2000, D2000y). Todos los productos se aplicaron a fines de noviembre de 2006 al voleo, incorporándolos mediante riego, dada la modalidad de siembra directa a la que se hallaba sometido el lote.

En marzo de 2007 se sembró una pastura de alfalfa, a razón de 13 kg ha^{-1}, variedad Albert 90 peleteada (grupo 9). Junto con la siembra, se incorporó Superfosfato Triple y Superfosfato Simple, a razón de 134 y 66 kg ha^{-1}, respectivamente, por tratarse de una práctica habitual en los productores de la zona.

Se evaluó materia seca (60 ºC) de alfalfa al estado de 10% de floración, a través de cuatro submuestras de 0,5 m^2, dejando 1 m de bordura, a lo largo de diez cortes entre octubre de 2007 y junio de 2009. En junio de 2009 se muestreó el suelo de 0-20 y 20-40 cm, mediante muestreo compuesto de 4 submuestras/muestra, en cada parcela del ensayo experimental.

- Provincia de Santa Fe. Departamento de Suardi, localidad de Villa Trinidad (30°29' LS y 62°02' LO), en la zona Centro-O de la provincia de Santa Fe. Se trata de una planicie muy suavemente ondulada. El clima es subhúmedo seco y con un ligero déficit en el balance hídrico. La temperatura media anual es de 19 °C y las isotermas del mes de julio es de 12 °C y del mes de enero 26 °C. Las precipitaciones medias anuales son de 800-900 mm, cuyos valores pluviométricos mínimos se registran en invierno, incrementándose en primavera, para hacerse máximos en verano y otoño (Servicio Meteorológico Nacional, 1992). Cabe destacar que el año de implantación de la pastura se caracterizó por un marcado déficit hídrico, con pluviometría considerablemente inferior al promedio local.

El suelo utilizado es un Argiudol típico, con actividad tambera y planteos de rotación desarrollados en los últimos diez años con

la modalidad de cuatro años de pradera de base de alfalfa y 1 año de verdeo (avena, maíz). Los datos analíticos se presentan en la Tabla 3.

El ensayo se realizó en parcelas de 400 m^2 distribuidas en un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial (tipo y dosis de corrector), con tres repeticiones. Los correctores utilizados fueron caliza (CaO 33,6%), dolomita (CaO MgO, 24 y 22%, respectivamente), ambos con granulometría comparable (<75 µm: 27%, 75-250 µm: 40,5%, >250 µm: 32,5%). Las dosis fueron de 0, 1.000 y 1.500 para cada producto (Símbolos: T, C1000, C1500, D1000, D1500). Los mismos se aplicaron manualmente al voleo incorporándolos mecánicamente a mediados de noviembre de 2005. La alfalfa var. Pionner 58N59 fue sembrada a fines de marzo de 2006, bajo siembra directa. Se realizaron seis cortes entre los meses de febrero de 2007 y marzo de 2008. Las intensas sequías sufridas en la zona, impidieron efectuar más cortes en el ensayo. Se evaluó rendimiento de materia seca (60 °C), a través de cuatro submuestras de 0,5 m^2/parcela, cortadas por sobre el nivel de la corona, al 10% de floración, dejando 1 m de bordura.

En marzo de 2008 se muestreó el suelo de 0-20 y 20-40 cm, mediante muestreo compuesto de cuatro submuestras/muestra, en cada parcela del ensayo experimental.

Análisis de suelo y vegetal

Los análisis químicos de suelo realizados fueron los siguientes:

- MO: digestión húmeda y valoración por volumetría redox con Sal de Mohr.
- N: digestión húmeda y determinación por destilación Kjeldahl.
- Textura: densimetría de Boyoucos.
- pH actual: método potenciométrico, relación suelo:agua de 1:2,5.
- pH potencial: método potenciométrico, relación suelo: KCl 1M de 1:2,5.
- CIC y cationes intercambiables: método del acetato de NH_4^+ pH 7 1N, determinación de CIC por destilación Kjeldahl, Ca y Mg por complejometría con EDTA, K y Na por fotometría de llama.
- P extractable: extracción con HCl 0,025 M y NH_4F 0,03 M, evaluación por absorción molecular en frío (Método de Bray y Kurtz modificado).

  Las determinaciones precedentes se llevaron a cabo mediante metodología desarrollada en SAMLA (SAGPyA, 2004):
- Al intercambiable (Bertsch & Bloom, 1996).

Tabla 3. Propiedades del suelo de Villa Trinidad, departamento de Suardi, provincia de Santa Fe (Argiudol típico).
Table 3. Soil properties of Villa Trinidad, Suardi Disctrict, Santa Fe Province (Typic Argiudol).

Horizonte	A	B	Bt1	Bt2	B3	C	Cca
prof. (cm)	0-27	27-37	37-82	82-116	116-147	147-210-	210-240
Ct (mg g^{-1})	1,7	-	-	-	-	-	-
Nt (mg g-^{1})	0,15	-	-	-	-	-	-
Arena (g kg^{-1})	22	22	20	19	35	31	178
Limo (g kg^{-1})	631	553	515	531	620	613	633
Arcilla (g kg^{-1})	347	425	465	450	345	356	189
Clase textural (1)	Fr-a-L	a-L	a-L	a-L	Fr-a-L	Fr-a-L	Fr-L
pH actual (1:2,5)	5,5	5,9	6,8	7,2	7,2	7,2	8,5
pH potencial (1:2,5)	4,8	5,1	5,1	5,4	5,4	5,4	7,2
Cationes intercambio							
Ca^{2+} ($cmol_c.kg^{-1}$)	10,9	9,9	16,5	18,6	17,4	19,2	20,9
Mg^{2+} ($cmol_c.kg^{-1}$)	2,3	4,0	5,3	5,4	5,4	2,8	3,6
Na^+ ($cmol_c.kg^{-1}$)	0,2	0,20	0,7	0,6	0,6	0,6	1,2
K^+ ($cmol_c.kg^{-1}$)	2,6	1,6	1,6	2,5	2,5	2,3	2,4
Suma de bases ($cmol_c.kg^{-1}$)	16	15,7	24,1	27,1	25,9	24,9	28,1
Al^{3+} ($mg_c.kg^{-1}$)	0,14	-	-	-	-	-	-
CIC ($cmol_c.kg^{-1}$)	17,3	17,5	26,6	28,4	26,9	26,3	26,7
Saturación de las bases (%)							
Ca^{2+}	68,1	63,1	68,5	68,6	67,2	77,1	74,4
Mg^{2+}	14,4	25,5	22,0	19,9	20,8	11,2	12,8
K^+	16,3	10,2	6,6	9,2	9,7	9,2	8,5
Saturación Básica Total (V, %)	92,5	89,7	90,6	95,4	96,3	94,7	105,2

(1) f: franco, a: arcilloso, L: limoso.

En el ensayo realizado en Córdoba se analizó el contenido vegetal de Ca y Mg en el material recogido en el 4º corte, a través de muestras compuestas de cuatro submuestras/parcela, mediante calcinación a 600 ºC y determinación por complejometría con EDTA (Malavolta *et al.*, 1997).

Análisis estadístico

Se realizó análisis paramétrico de la varianza de las variables medidas y comparación de medias por el Test de Diferencias Mínimas Significativas ($p< 0,05$), previo análisis de cumplimiento de supuestos básicos (Mendenhall *et al.*, 1986).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acidez y naturaleza de los complejos de cambio de los suelos ensayados

Como se desprende de las Tablas 1, 2 y 3, el pH actual es de moderadamente a fuertemente ácido en los tres suelos en el horizonte superficial, atendiendo la escala calificatoria de Schoeneberger *et al*. (2000). A pesar de poseer porcentajes de saturación de moderados a elevados, el nivel del pH potencial sugiere que los tres suelos tienen alta posibilidad de incrementar su acidez actual por pérdida de bases en el futuro, a la vez que presentar eventual toxicidad de Al, dado que el pH potencial oscila alrededor de 5,0, condición de solubilidad de este elemento.

Los rangos de suficiencia relativa de las bases, ampliamente aceptados, son de 65-85% para el Ca, 6-12% para Mg y 2-5% para K, lo que indicaría que los suelos poseen una saturación cálcica normal o cercana al límite inferior del rango, lo que deriva en valores superiores a la normalidad para Mg y, particularmente, K (Fassbender, 1980; Mora & Demanet, 1999; Vázquez, 2005). La limitante citada, en el suelo de Laboulaye, se da en un marco de contenido absoluto de Ca mucho menor, asociada a una textura más gruesa con menor capacidad de retener bases en su complejo de cambio, señalando potenciales perjuicios para el desarrollo de la especie en análisis.

Efecto de las enmiendas básicas sobre el rendimiento de alfalfa

En las Tablas 4, 5 y 6 se ilustran los rendimientos de materia seca obtenidos a través de los sucesivos cortes, consignando en ellas los resultados del análisis estadístico del efecto de los tratamientos. En las Figuras 1, 2 y 3 se observan los resultados de materia seca para la totalidad de los cortes en cada caso y el análisis estadístico respectivo.

Tabla 4. Materia seca de alfalfa a lo largo de cinco cortes en el ensayo de Buenos Aires [Letras distintas indican dif. est. sign. ($p<0,05$) entre tratamientos dentro de cada corte (sentido de columna)].

Table 4. Alfalfa dry matter over five cuts in the trial of Buenos Aires [Different letters indicate dif. est. sign. ($p <0.05$) between treatments within each cut (column´s direction)].

Tratamientos	Materia seca(kg ha^{-1}) Corte				
	1	2	3	4	5
T	1.641 ab	1.336 a	2.558 a	1.892 ab	3.367 a
C1000	1.605 ab	1.799 cd	3.358 ab	1.857 ab	3.961 a
C1500	1.693 ab	2.256 d	2.383 a	1.586 a	3.386 a
C2000	1.418 a	2.297 d	2.800 ab	2.063 b	3.444 a
D1000	1.462 a	1.643 b	3.915 b	1.952 ab	3.377 a
D1500	1.716 ab	1.671 b	2.843 ab	1.753 ab	3.453 a
D2000	1.814 b	2.008 cd	2.873 ab	1.970 ab	2.627 a

T: testigo; C: conchilla; D: dolomita; 1000, 1500 y 2000: dosis en kg ha^{-1}

Tabla 5. Materia seca de alfalfa a lo largo de seis cortes en el ensayo de Santa Fe [Letras distintas indican dif. est. sign. ($p<0,05$) entre tratamientos dentro de cada corte (sentido de columna)].

Table 5. Alfalfa dry matter over six cuts in the trial of Santa Fe [Different letters indicate dif. est. sign. ($p <0.05$) between treatments within each cut (column´s direction)].

Tratamientos	Materia seca(kg ha^{-1}) Corte					
	1	2	3	4	5	6
T	1.935 a	1.888 a	2.089 a	2.458 b	2.819 a	1.700 a
C1000	2.148 a	1.990 a	2.602 b	2.184 ab	3.109 a	2.013 b
C1500	2.249 a	1.779 a	1.963 a	2.140 a	3.088 a	1.913 ab
D1000	2.172 a	1.954 a	2.610 b	2.438 b	3.248 a	1.973 b
D1500	2.585 b	1.705 a	2.120 ab	2.324 ab	3.101 a	1.987 b

T: testigo; C: caliza; D: dolomita; 1000 y 1500: dosis en kg ha^{-1}.

Tabla 6. Materia seca de alfalfa a lo largo de diez cortes en el ensayo de Córdoba [Letras distintas indican dif. est. sign. ($p<0,05$) entre tratamientos dentro de cada corte (sentido de columna)].

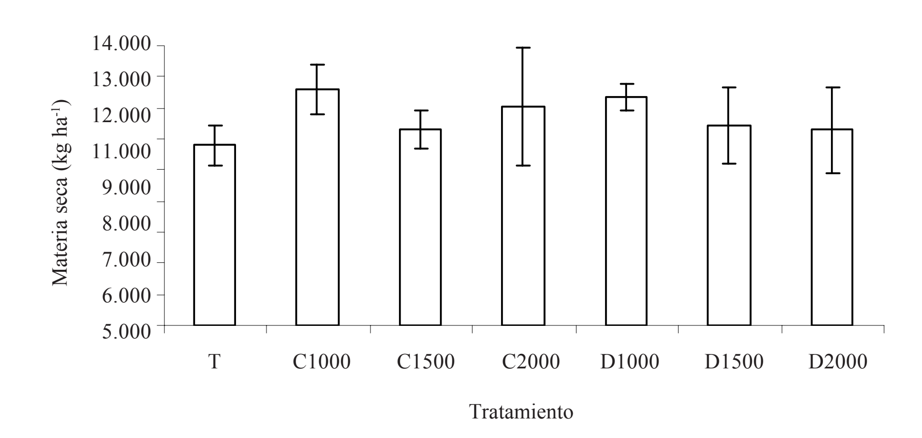
Table 6. Alfalfa dry matter over ten cuts in the trial of Córdoba [Different letters indicate dif. est. sign. ($p <0.05$) between treatments within each cut (column´s direction)].

Tratamiento	Materia seca (kg ha^{-1}) Corte									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T	2.023 a	2.137 a	2.451 abc	2.477 a	1.349 abc	1.105 ab	2.577 ab	2.619 ab	1.846 abc	383 ab
Ty	2.044 a	2.535 abcd	2.439 abc	2.693 abc	1.462 bc	1.196 abc	2.492 ab	2.861 ab	1.791 ab	611 bcde
C 700	2.432 de	2.664 bcd	2.972 d	3.018 c	1.201 a	1.496 bc	3.012 b	2.621 ab	2.245 c	822 def
C 700y	2.286 bcd	2.590 abcd	2.730 cd	2.952 bc	1.199 a	1.331 abc	2.937 b	2.765 ab	2.099 abc	1031 fg
C1500	2.034 a	2.233 ab	2.164 a	2.828 abc	1.250 ab	1.331 a	2.320 ab	2.356 a	1.989 abc	511 abc
C1500y	2.306 bcd	2.376 abc	2.587 bc	2.520 a	1.320 abc	1.148 abc	1.947 a	3.062 b	1.889 abc	348 ab
C2000	2.408 de	2.459 abc	2.122 a	2.586 ab	1.309 abc	1.182 abc	1.856 a	2.299 a	1.697 a	1.136 g
C2000y	2.080 ab	2.811 cd	2.438 abc	2.760 abc	1.285 abc	1.410 abc	2.461 ab	2.891 ab	2.134 bc	960 fg
D700	2.389 de	2.415 abc	2.218 ab	2.979 c	1.177 a	1.279 abc	2.472 ab	2.728 ab	1.949 abc	846 ef
D700y	2.577 e	2.956 d	2.485 abc	2.784 abc	1.275 ab	1.549 c	2.620 ab	2.560 ab	2.207 bc	690 cde
D1500	2.298 bcd	2.343 ab	2.265 ab	2.904 bc	1.355 abc	1.226 abc	1.850 a	2.549 ab	1.816 abc	683 cde
D1500y	2.457 de	2.401 abc	2.460 abc	2.821 abc	1.235 a	1.238 abc	2.584 ab	2.725 ab	2.005 abc	564 abcd
D2000	2.126 abc	2.627 bcd	2.185 a	2.907 bc	1.367 abc	1.219 abc	2.496 ab	2.583 ab	2.241 c	361 ab
D2000y	2.319 cd	2.157 a	2.369 abc	2.801 abc	1.503 c	1.211 abc	2.371 ab	2.886 ab	2.010 abc	323 a

T: testigo; C: caliza; D: dolomita; y: yeso; 700, 1500 y 2000: dosis en kg ha^{-1}.

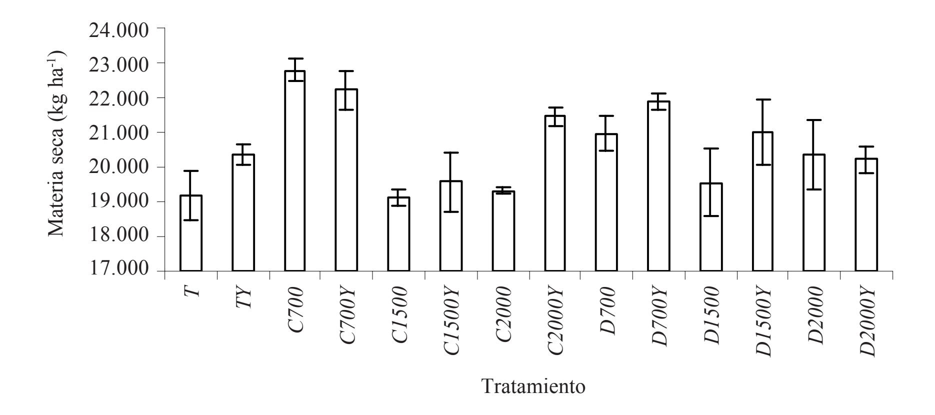
Si bien la evolución del rendimiento, independientemente del tratamiento, sigue una tendencia característica de pasturas primavero-estivales, debe señalarse que los valores reducidos en algunos cortes de Laboulaye y Suardi, pueden atribuirse a intensas sequías ocurridas entre otoño e invierno de 2008 y otoño de 2009 en Laboulaye (5º, 6º y 10º corte), verano-otoño de 2007 y 2008 en Suardi (2º y 6º corte).

En cada corte se verificaron diferencias estadísticas características del mismo (Tablas 4 a 6). A pesar de ello, puede visualizarse para el total de los cortes (Figs. 1, 2 y 3) que los tratamientos produjeron aumentos de rendimiento particulares para cada uno de los sitios ensayados. Sin embargo, puede generalizarse que las dosis menores (700 y 1.000 kg ha^{-1}) en todos los casos, produjeron los mayores aumentos de rendimiento, para ambos



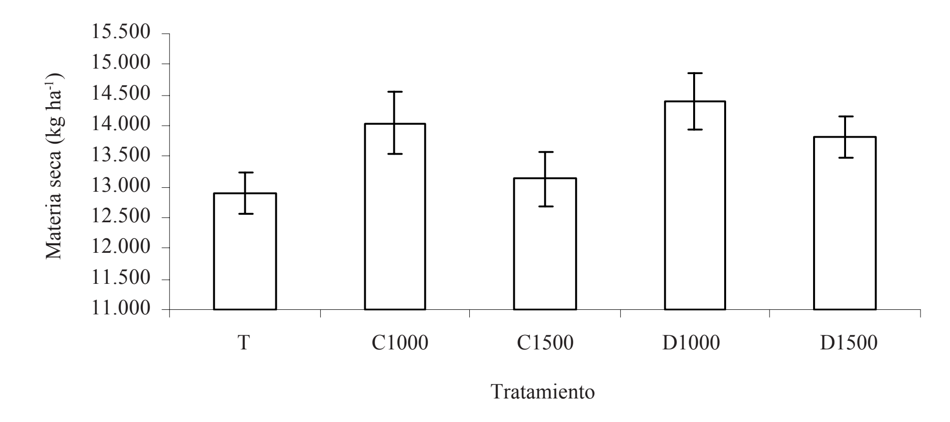
T: testigo; C: conchilla; D: dolomita; 1000, 1500 y 2000: dosis en kg ha^{-1}.
(Letras distintas indican dif. est. sign. ($p<0,05$) entre tratamientos).

Figura 1. Rendimiento total de cinco cortes de un alfalfar ubicado en La Plata, Buenos Aires.
Figure1. Five cuts total yield of alfalfa cultivated in La Plata, Buenos Aires.



T: testigo; C: caliza; D: dolomita; y: yeso; 700, 1500 y 2000: dosis en kg ha^{-1}.
(Letras distintas indican dif. est. sign. ($p<0,05$) entre tratamientos).

Figura 2. Rendimiento total de diez cortes de un alfalfar ubicado en Laboulaye, Córdoba.
Figure 2. Ten cuts total yield of alfalfa cultivated in Laboulaye, Córdoba.



T: testigo; C: caliza; D: dolomita; 1000 y 1500: dosis en kg ha^{-1}
(Letras distintas indican dif. est. sign. ($p<0,05$) entre tratamientos)

Figura 3. Rendimiento total de seis cortes de un alfalfar ubicado en Suardi, Santa Fe
Figure 3. Six cuts total yield of alfalfa cultivated in Suardi, Santa Fe

correctores. En el caso de los correctores con $CaCO_3$ (conchilla, caliza) el incremento fue de 9, 16,5 y 18,8% respecto del testigo, para los ensayos de Santa Fe (C1000), Buenos Aires (C1000) y Córdoba (C700), respectivamente. En el caso del corrector con $CaCO_3/MgCO_3$ (dolomita) el incremento fue de 11,7; 14,4 y 9,1% respecto del testigo, para los ensayos de Santa Fe (D1000), Buenos Aires (D1000) y Córdoba (D700), respectivamente. Vázquez *et al.* (2009), encontraron que en el suelo Argiudol típico de la provincia de Buenos Aires ensayado, la resistencia a la penetración disminuía hasta la profundidad de 300 mm, con dosis de 1.000 kg ha^{-1} de los productos aplicados, mientras que a dosis superiores, esta variable alcanzaba valores que serían limitantes para el crecimiento de diversas especies. Los mismos autores confirmaron que otras variables físicas y microbiológicas, siguen este patrón de comportamiento. La razón aparente podría residir en mecanismos de reprecipitación de los carbonatos, con obturaciones parciales del espacio poroso en aplicaciones de altas dosis. Este último aspecto es puesto de manifiesto por cambios en la dinámica del agua y de la propia porosidad, de acuerdo a los mencionados autores.

El análisis estadístico de los resultados totales no permitió comprobar diferencias estadísticamente significativas entre correctores carbonatados en forma generalizada, ni de la adición de yeso a los mismos en la mayor parte de los tratamientos. En el ensayo realizado en Laboulaye, sin embargo, existiría una tendencia a que el

agregado de yeso mejore los rendimientos en algunos tratamientos. Diversas razones podrían explicar este aparente comportamiento. Hernández *et al.* (2006) evaluaron la dinámica del movimiento descendente de las bases en el horizonte superficial de un suelo Hapludol thaptoárgico, tratado con caliza, dolomita y yeso. Los autores argumentaron que el yeso, en su calidad de sal de ácido fuerte, podría favorecer la solubilización de los carbonatos agregados y con ello, el movimiento descendente de las bases aportadas al ambiente de mayor actividad radical. Dada la insolubilidad de los carbonatos, esto resultaría una alternativa viable para la corrección de suelos ácidos bajo planteos de siembra directa, donde los productos no son incorporados mecánicamente, situación acontecida en el ensayo de Laboulaye. Otra razón de esta aparente incidencia positiva, podría ser una disminución del Al intercambiable, ya que el yeso se comporta como «base de Lewis», promoviendo la precipitación del Al y reduciendo, por ende, las posibilidades de su toxicidad (Zapata Hernández, 2004). La evaluación a la profundidad de 0-20 cm del Al intercambiable, a los dos años de la aplicación de los productos, permitió confirmar que el mismo se redujo entre el 50 y 76% respecto del valor original, según el tratamiento, confirmando la acción de los correctores sobre este elemento (Santos Sbuscio *et al.*, 2009). Adicionalmente, el pH actual se elevó de la situación inicial de 5,1 a valores entre 5,6 y 6,2; justificando por esta vía la reducción del Al (Tabla 9). Por debajo de pH 5 la forma dominante es el Al^{3+} soluble, capaz de ser intercambiado. Entre pH 5-5,7 puede formarse otra especie soluble, que es $Al(OH)_2^{+}$. A valores mayores de pH (5,5-5,8 y hasta 7,5) el Al^{3+} forma $Al(OH)_3^{0}$ precipitado, por lo tanto la posibilidad de toxicidad de este elemento se reduce drásticamente (Zapata Hernández, 2004). Sin embargo, debe destacarse que el pH alcanzado en los tratamientos de mayor rendimiento, mayoritariamente por debajo de valores considerados óptimos para la alfalfa (6,0-6,5), se contrapone al hecho de que los mayores rendimientos se registran con las menores dosis empleadas. Esto apoyaría la existencia de fenómenos secundarios de los correctores de naturaleza física (Vázquez *et al.*, 2009), en la determinación del rendimiento y permitiría afirmar que el diagnóstico de la cantidad de corrector a aplicar, sobre la base de medidas químicas exclusivamente, puede conducir a la elección de tecnologías poco apropiadas, particularmente en suelos moderadamente ácidos de ambientes templados. Otra razón de la ventaja del yeso podría radicar en el aporte de azufre, nutriente de alto requerimiento en las leguminosas. Un incremento de 1.157 kg ha^{-1} del tratamiento testigo más yeso (Ty) por sobre el testigo sin esta enmienda en el ensayo de Labou-laye (Fig. 2), al cabo de los diez cortes, podría sustentar esta explicación.

La evolución en el tiempo de la respuesta en materia seca vegetal al agregado de correctores fue analizada particularmente en el ensayo de Laboulage, debido al mayor número de cortes evaluados en él. Para efectuar dicho análisis fueron omitidos los cortes efectuados en períodos de sequía (5,6 y 10) a los fines de evitar situaciones anómalas. La evolución del rendimiento relativo al testigo para los tratamientos de mayor respuesta vegetal en este ensayo, se ilustra en la Figura 4. Los análisis

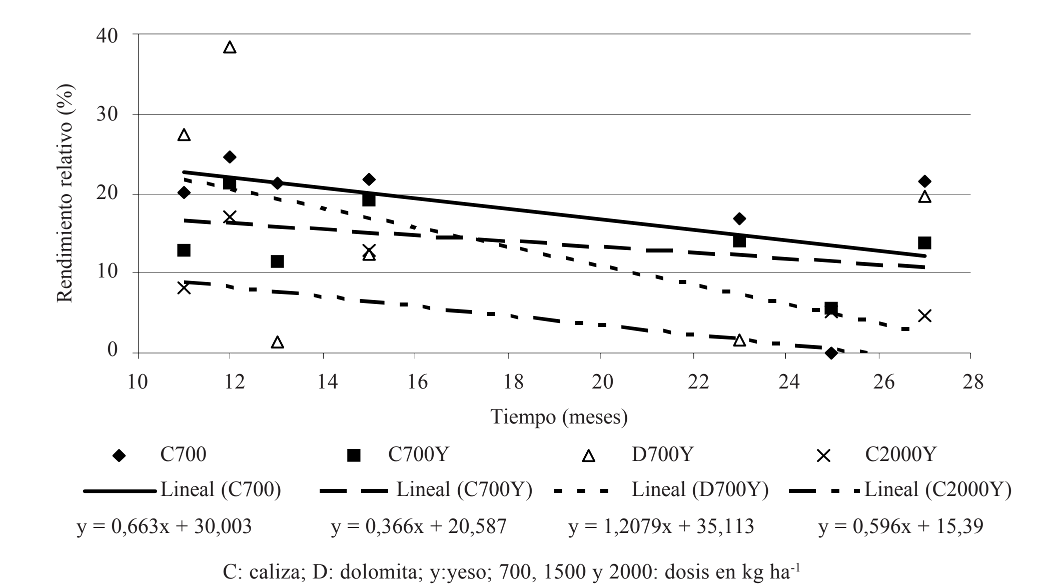


Figura 4. Rendimiento relativo al testigo de los tratamientos de mayor respuesta al encalado a lo largo del tiempo de evaluación en el ensayo de Laboulaye (Córdoba).

Figure 4. Relative yield of the treatments of higher response to the liming throughout the evaluation time in the Laboulaye's trial (Córdoba).

estadísticos realizados mediante regresiones de dicho rendimiento respecto del tiempo transcurrido desde la aplicación de los correctores, muestran diferencias estadísticas no significativas. Este hecho señala la residualidad de los productos hasta veintisiete meses posteriores a la aplicación. Sin embargo, de acuerdo a la mencionada Figura, existiría una tendencia general al decremento del rendimiento relativo, y este sería variable de acuerdo al producto y su dosis. La dolomita (D700y), en su condición de carbonato de mayor solubilidad, en combinación con yeso, fuente soluble de calcio y con posible acción disolutoria del mencionado carbonato, posee una pendiente negativa casi tres veces más elevada en valor absoluto que su dosis equivalente de caliza (C700y). Es así que el rendimiento relativo estimado al cabo de 24 meses es de 6,1% para el tratamiento D700y, y 11,8% para el tratamiento C700y. Puede comprobarse que este hecho no se revierte con dosis superiores (C2000y), razón que se suma a los argumentos ya citados, en el sentido de lo inconveniente del empleo de dosis elevadas.

Efecto del encalado sobre el contenido de Ca y Mg en el forraje

En la Tabla 7 se consignan los resultados del análisis de la concentración de Ca y Mg en el vegetal, en el ensayo realizado en Laboulaye (provincia de Córdoba). En dicha Tabla se utilizan dos expresiones, la concentración sobre materia seca foliar (p/p), y los contenidos totales de ambos elementos, afectando la concentración por el rendimiento en materia seca del 4º corte, donde se hicieron las determinaciones foliares. Si se toman como referencia los umbrales establecidos para esta especie (< 10 mg g^{-1}), puede afirmarse que la concentración de Ca es generalizadamente deficiente en esta situación experimental, aún con las mayores dosis de encalado, mientras que la de Mg puede considerarse normal (2-3 mg g^{-1}) (Junta de Extremadura, 1992) en el suelo sin tratamiento, y algo superior a esta condición en las parcelas encaladas. Estos resultados concuerdan con la evaluación de la fertilidad cálcico/magnésica realizada a través del análisis del complejo de cambio del suelo, comentada párrafos atrás. Si bien las concentraciones medidas en el vegetal en el tratamiento T (9,2 mg g^{-1}) en Laboulage sugieren deficiencia de Ca, los correctores no modificaron esa situación o lo hicieron levemente (9,2-11,1 mg g^{-1}) (Tabla 7). La concentración de Mg en T puede considerarse media (3 mg g^{-1}) y algunos de los tratamientos aplicados aumentaron significativamente su valor (Mg: 3,7-5,1 mg g^{-1}). Estos incrementos, pero particularmente el aumento de materia seca, aumentaron la oferta de ambos nutrientes por unidad de superficie, constituyendo una ventaja nutricional de la pastura encalada (Tabla 7). Es decir, el mayor consumo, particularmente de Ca, y en menor medida de Mg, es destinado a mayor producción de forraje y no al aumento de la concentración foliar de los mismos. Es dable apreciar, paralelamente, que las dosis superiores de ambos correctores, tampoco muestran ventajas comparativas en estas variables.

Si bien, los resultados obtenidos permiten comprobar otro beneficio de la práctica para este sistema productivo, también señalan la complejidad de los procesos regulado-

Tabla 7. Contenido de Ca y Mg en la pastura en los diferentes tratamientos aplicados al suelo Hapludol éntico de la provincia de Córdoba (4º corte). Concentración y contenido total. [(Letras diferentes indican dif. est. sig. ($p<0,05$) para cada forma de expresión)].

Table 7. Ca and Mg content in pasture in different treatments applied to the Entic Hapludol soil from the Córdoba Province (4º cut). Concentration and total content. [(Different letters indicate sign. est. dif. ($p<0.05$) for each form of expression)].

	Dosis (kg ha^{-1})							
	0	700	1.500	2.000	0	700	1.500	2.000
	Concentración (mg g^{-1})				Contenido total (kg ha^{-1})			
Ca								
Caliza	9,2ab	10,5ab	8,9ab	9,8ab	22,8a	31,7d	25,2abc	25,4abcd
Caliza + yeso	9,2ab	8,9ab	9,6ab	8,8ab	22,8a	26,4abcd	23,7a	24,4ab
Dolomita	9,2ab	9,2ab	11,1ab	9,0ab	22,8a	27,5abcd	32,2cd	26,3abcd
Dolomita + yeso	9,2ab	10,5b	8,6a	10,6b	22,8a	29,2abcd	24,2ab	29,7bcd
Mg								
Caliza	3,0a	4,3abc	4,1abc	3,9abc	7,9a	13,0cde	12,0abcde	10,1abc
Caliza + yeso	3,0a	4,6bc	4,1abc	4,6bc	7,9a	14,2de	11,0abcd	12,8bcde
Dolomita	3,0a	5,1c	3,0ab	4,8bc	7,9a	15,5e	9,4abc	13,9cde
Dolomita + yeso	3,0a	3,7abc	4,8c	4,1abc	7,9a	10,4abcd	13,9cde	11,6abcde

res de la respuesta vegetal, sugiriendo la necesidad de profundizar en el conocimiento de la dinámica de los correctores en este tipo de suelos en el ámbito templado.

Efecto del encalado sobre propiedades edáficas

Los resultados de la Tabla 8, donde se ilustran las propiedades químicas del suelo Argiudol típico bonaerense, dos años después de la aplicación de los productos, permiten apreciar que el agregado de las diferentes dosis de estos correctores elevaría, en términos generales, el pH, manteniéndose incrementos por sobre el testigo tanto de pH actual (5,1 *vs* 5,4-5,6) como potencial (5 *vs* 5,1-5,4) en la capa de 0-20 cm. Los cambios subsuperficiales no tendrían una tendencia definida. Sin embargo, cabe consignar que por tratarse de muestra compuesta no fue posible realizar comprobaciones estadísticas de las tendencias comentadas. Un efecto adicional producido por el agregado efectuado, fue el incremento por sobre el testigo de la CIC, particularmente para la capa superficial (14,3 *vs* 18,1-19,6), no mostrando beneficios adicionales del incremento de la dosis o el tipo de producto aplicado sobre la mencionada variable. Como se sabe, la CIC está constituida tanto por cargas permanentes como variables, estas últimas dependientes del grado de acidez. El aumento de pH consignado podría haber incrementado las cargas negativas, y de esta manera, indirectamente, modificar la posibilidad de retener más bases, tendencia que se aprecia en los resultados de la Tabla 8 y constituiría un beneficio adicional al propio aporte de Ca y Mg. Este fenómeno ya ha sido citado en la literatura como una consecuencia de la corrección de la acidez para suelos con

Tabla 8. Datos analíticos del Argiudol típico de Buenos Aires dos años después de la incorporación de los correctores.
Table 8. Analytical data of the Typic Argiudol of Buenos Aires two years after the amendments incorporation.

	pH actual			pH pot.			CIC	Ca	Mg	K	CIC	Ca	Mg	K	CIC	Ca	Mg	K
							cmolc kg^{-1}											
Prof. (cm)	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20				20-40				40-60T			
	5,1	5,5	5,6	5,0	5,1	5,4	14,3	12,1	1,1	1,2	19,7	14,2	3,5	0,9	28,3	19,6	4,7	1,0
C1000	5,4	5,6	5,8	5,1	5,1	5,3	19,4	12,1	0,5	1,2	22,5	14,6	2,9	0,9	28,3	18,9	5,6	1,0
C1500	5,6	5,9	6,2	5,3	5,3	5,6	18,6	13,4	1,3	1,2	27,6	18,9	4,2	1,4	31,5	20,5	4,8	1,3
D1000	5,5	5,3	5,5	5,4	5,1	5,2	19,6	14,1	3,2	1,5	24,7	17	2,7	1,3	29,4	22,3	3,5	1,2
D1500	5,4	5,3	5,7	5,2	5	5,3	18,1	14,7	2,7	1,2	24,7	18,9	2,5	1,1	28,3	18,9	6,8	1,2

T: testigo; C: conchilla; D: dolomita; 1000 y 1500: dosis en kg ha^{-1}.

Tabla 9. Datos analíticos del Hapludol éntico de Córdoba tres años después de la incorporación de los correctores [Letras distintas indican dif. est. sign. ($p<0,05$) entre tratamientos (sentido de columna)].
Table 9. Analytical data of the Entic Hapludol of Córdoba three years after the amendments incorporation [Different letters indicate est. dif sig. ($p<0.05$) between treatments (column's direction)].

Prof. (cm)	pH actual		pH pot.		CIC	Ca	Mg	K
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20			
T	5,1a	6,2	4,4a	5,2	12,0a	6,0a	1,0a	2,3ab
Ty	5,8b	6,3	5,0bc	5,4	12,5abc	6,4ab	1,5a	2,3ab
C 700	6,2c	6,2	5,4c	5,3	13,1bc	7,2b	1,2a	2,4abc
C 700 y	5,7b	6,4	4,9bc	5,5	12,8abc	6,4ab	1,7a	2,3ab
C 1500	5,9bc	6,3	5,3bc	5,4	12,9abc	6,2ab	1,2a	2,1a
C 1500 y	5,9bc	6,2	5,0bc	5,2	12,4abc	6,3ab	1,0a	2,3ab
C2000	5,8bc	6,5	5,0bc	5,5	13,3bc	6,2ab	1,5a	2,6c
C2000y	5,9bc	6,2	5,0bc	5,3	12,8abc	7,2b	1,4a	2,5bc
D 700	5,7b	6,3	4,9bc	5,3	13,3c	6,6ab	1,5a	2,5bc
D 700 y	5,9bc	6,2	5,1bc	5,2	13,0abc	6,5ab	1,5a	2,4abc
D 1500	5,8bc	6,1	5,1bc	5,2	13,3c	6,6ab	1,3a	2,3ab
D 1500 y	5,6b	6,2	4,9b	5,3	13,1abc	6,5ab	1,0a	2,3ab
D 2000	5,7b	6,1	5,0bc	5,3	12,2abc	7,0ab	1,5a	2,2b
D 2000 y	6,0bc	6,2	5,3bc	5,2	12,5abc	7,0ab	1,2a	2,2b

T: testigo; C: caliza; D: dolomita; y: yeso; 700, 1500 y 2000: dosis en kg ha^{-1}

predominio de carga variable (Blake *et al.*, 1999), y se verificaría en estos resultados para suelos con predominio de carga permanente. El aumento de la CIC, en un marco de aporte de elementos básicos, derivó en un incremento en el contenido de la fracción intercambiable de Ca, particularmente en las capas de 0-40 cm.

Los resultados obtenidos en el suelo Argiudol típico de Santa Fe, son en términos generales comparables (Tabla 10). El incremento de pH actual que se registró dos años después del agregado de los productos en la capa de 0-20 cm fue de 5,5 en el tratamiento T, a un rango comprendido entre 5,6-5,7, según el tratamiento corrector. En el caso del pH potencial el aumento fue estadísticamente no significativo ($p<0,05$), y la CIC pasó de un valor de 17,3 cmol kg^{-1} en T a 18,9-19,6 cmol kg^{-1}, estadísticamente significativa ($p<0,05$).

En la Tabla 9 se ilustran los resultados de la evaluación química de las parcelas ensayadas, tres años después de iniciado el ensayo sobre el suelo Hapludol éntico de Córdoba. Si bien la modificación de los valores de pH actual y potencial en la capa de 0-20 cm aún persiste en el suelo, mostrando la residualidad de la práctica, cabe destacar que las modificaciones del complejo de cambio son relativamente menores en este suelo. El pH actual en la capa superficial mantenía un incremento significativo desde el punto de vista estadístico ($p<0,05$) desde 5,1 en T a 5,6-6,2 en los tratamientos con corrección. En el pH potencial estas cifras fueron de 4,4 a 4,9-5,4, según el tratamiento. Paralelamente la CIC mantenía un reducido aumento, comprendido entre 12 cmol kg^{-1} (T) a 12,2-13,3 cmol kg^{-1} en los tratamientos con corrección. Esto podría estar explicado por la condición textural más gruesa y el menor contenido de materia orgánica, es decir, componentes coloidales pasibles de aumentar la carga variable.

Otro factor de consideración en esta práctica es su relación con la disponibilidad de fósforo (P). Como puede evaluarse en la Tabla 11, la disponibilidad de este elemento es considerablemente alta en los suelos de las localidades de Villa Trinidad (Suardi) y Adelia María (Laboulaye), mientras que en Los Hornos el valor puede calificarse como moderadamente bajo para el cultivo (Bordoli, 1998; Berardo & Marino, 2000). Paralelamente, los suelos de estas 2 últimas localidades recibieron fertilización fosforada, como práctica habitual del manejo de la especie en la zona. En la mencionada Tabla se aprecia el efecto de las enmiendas y sus dosis sobre el contenido de este elemento. En los casos de Villa Trinidad y Adelia María queda de manifiesto una interacción negativa provocada por la precipitación de fosfatos, aún con fertilización en este último caso. El efecto sería despreciable en Villa Trinidad, dada la fertilidad fosforada del suelo, mientras que en Laboulaye la

Tabla 10. Datos analíticos del Argiudol típico de Santa Fe dos años después de la incorporación de los correctores [Letras distintas indican dif. est. sign. ($p<0,05$) entre tratamientos (sentido de columna)].

Table 10. Analytical data of the Typic Argiudol of Santa Fe two years after the amendments incorporation [Different letters indicate est. dif sig. ($p<0.05$) between treatments (column's direction)].

	pH actual		pH pot.		CIC	Ca	Mg	K cmolc kg^{-1}	CIC	Ca	Mg	K
Prof. (cm)	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20				20-40			
T	5,5a	5,9	4,8a	5,1	17,3a	10,9a	2,3a	2,6a	17,4	9,9	4,1	1,6
C1000	5,7b	5,9	5,1a	5,1	19,6b	11,9a	2,3a	2,8a	21,1	14,9	3,2	2,6
C1500	5,7b	5,9	5,0a	5,1	19,0b	11,4a	2,7a	2,6a	21,5	14,5	2,8	2,4
D1000	5,6b	5,9	4,9a	5,1	19,0b	11,4a	2,4a	2,5a	20,2	13,6	3,0	2,2
D1500	5,7b	5,9	5,0a	5,1	18,9b	11,5a	2,4a	2,5a	20,7	14,0	3,0	2,4

T: testigo; C: caliza; D: dolomita; 1000 y 1500: dosis en kg ha^{-1}

Tabla 11. Efecto de las enmiendas sobre el contenido de P extractable (mg kg^{-1}).

Table 11. Effect of amendments on the content of extractable P (mg kg^{-1}).

	Tratamiento								
	T	C700	C1000	C1500	C2000	D700	D1000	D1500	D2000
Suelo									
Argiudol típico (Los Hornos)	11,9	-	13,0	10,5	11,0	-	10,3	12,8	9,5
Argiudol típco (Villa Trinidad)	68,3	-	68,0	59,5	-	-	56,7	59,8	-
Hapludol éntico (Adelia María)	43,6	29,1	-	19,1	25,0	-	26,9	18,1	24,2

T: testigo; C: caliza; D: dolomita; , 700, 1000, 1500 y 2000: dosis en kg ha^{-1}

interacción negativa no logra compensarse con la fertilización. En el suelo de Los Hornos la situación inicial es de deficiencia para la alfalfa según umbrales bibliográficos y la fertilización aplicada no permitió superar esa circunstancia, aunque habría evitado la disminución del P extractable provocada por el agregado de las enmiendas. Los resultados señalan claramente que la práctica debe estar acompañada de la evaluación de la suficiencia de P y eventual necesidad de fertilización, para evitar situaciones de deficiencia en una especie exigente en este nutriente.

CONCLUSIONES

Las menores dosis (700-1.000 kg ha^{-1}) de caliza/conchilla y de dolomita, solas o con yeso, produjeron los mayores incrementos de rendimientos totales. En el caso de los correctores con $CaCO_3$ (conchilla, caliza) el incremento fue de 9, 16,5 y 18,8% respecto del testigo, para los ensayos de Santa Fe (C1000; 6 cortes), Buenos Aires (C1000, 5 cortes) y Córdoba (C700, 10 cortes), respectivamente. En el caso del corrector con $CaCO_3$/$MgCO_3$ (dolomita) el incremento fue de 11,7; 14,4 y 9,1% respecto del testigo, para los ensayos de Santa Fe (D1000), Buenos Aires (D1000) y Córdoba (D700), respectivamente y para el mismo número de cortes.

La residualidad de la práctica para estos ambientes y sistemas productivos se extendió durante todo el tiempo evaluado (27 meses). El rendimiento relativo al testigo estimado al cabo de 24 meses fue de 6,1% para el tratamiento D700y, y 11,8% para el tratamiento C700y, conforme a la mayor solubilidad de la enmienda dolomítica.

Los tratamientos no produjeron mayores diferencias en las concentraciones foliares de Ca y Mg, aunque los mismos aumentaron la oferta de ambos nutrientes por unidad de superficie a expensas del aumento de rendimiento, con máximos de 9,4 kg ha^{-1} de Ca y 7,6 kg ha^{-1} de Mg. Al cabo de dos años de encalados, los suelos aún consignaron efectos en la reducción de la acidez actual, comprendidos entre 0,1-1,1 unidades de pH, según el suelo, así como en la acidez potencial, comprendida entre 0,1-0,9 unidad de pH, ambos en la capa superficial, variando con el tratamiento aplicado. Conjuntamente, se registraron a esa fecha aumentos de la capacidad de intercambio catiónica en un rango de 0,2 a 5,3 cmol kg^{-1} y del Ca intercambiable desde incrementos nulos a un máximo de 2,6 cmol kg^{-1}, correspondiendo los mayores valores a los suelos texturalmente más finos provenientes de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Así mismo, se registró una interacción negativa con el contenido de P extractable, sugiriendo la necesidad de acompañar la práctica con diagnósticos de la necesidad de fertilizaciones fosforadas en casos de niveles bajos de este elemento.

Los resultados permitirían afirmar que el diagnóstico de la cantidad de corrector a aplicar, sobre la base de medidas químicas exclusivamente, puede conducir a la elección de tecnologías poco apropiadas, particularmente en suelos moderadamente ácidos de ambientes templados.

AGRADECIMIENTOS

A la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA), a Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA), a los ingenieros D. Blangeti, J. Merlo y G. Ardanáz, A. Dorronzoro, a la firma Rasafértil S.A., a la alumna M. Mur.

BIBLIOGRAFÍA

Barbazan, M; M Ferrando & J Zamalvide. 2008. Diagnóstico nutricional de *Lotus corniculatus* L. en suelos del Uruguay. *Informaciones Agronómicas* 39:6-13.

Berardo, A & MA Marino. 2000. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la disponibilidad de P y su relación con la producción de forraje en Molisoles del sudeste bonaerense. II- Alfalfa. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires. 11-14/4.

Bertsch, PM & PR Bloom. 1996. Aluminium. Cap. 18. *In:* Methods of soil analysis. Ed. Bigham J.M. SSSA, Wisconsin, EEUU. 1390 p.

Blake, L; KWT Goulding; CJB Mott & AE Johnston. 1999. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodlandygrass at Rothamsted Experimental Station, UK. *Eur J Soil Sci* 50: 401-412.

Bordoli, JM. 1998. Fertilización de Pasturas de Leguminosas y Mezclas de Gramíneas y Leguminosas. Actas Jornada de Fertilización de Pasturas. Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay. INTA. Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

Bordoli, JM & ON Casanova. 2004. Encalado de soja en el NE de Uruguay. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo/II Simposio Nacional sobre suelos Vertisólicos. Paraná, Entre Ríos, 22-25/6.

Bordoli, JM. 2005. Encalado de alfalfa E. Chana. Simposio Binacional Impacto de la Intensificación Agrícola en el Recurso Suelo. Actas 1º Reunión Uruguaya de la Ciencia del Suelo. Colonia del Sacramento, Uruguay, 6-7/10.

Brady, NC & RR Weil. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall Inc. New Jersey. 881p.

Burle, ML; A Mielniczuk & S Focchi. 1997. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis soil acidification. *Plant and Soil* 190: 309-316.

Caires EF; FJ Garbuio; S Churra; G Barth & JCL Correa. 2008. Effects of solo acidity amelioration by surface living on no-till corn, soybean, and weath root growth and yield. *Eur J Agron* 28: 57-64.

Fassbender, HW. 1980. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Ed. IICA. San José, Costa Rica. 398 pp.

García, A; G Dueñas; G Hernández; G Herrero; A Nuviola; N Méndez & F Zapata. 2003. Efecto del encalado en la respuesta vegetal y fijación simbiótica del nitrógeno en frijol común. *Agronomía Mesoamericana* 14: 207-214. Costa Rica.

Gelati, P & M Vázquez. 2008. Extracción agrícola de bases en el N de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas. *Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica (Rebivec)* 7: 117-129.

Hernández, JP; M Vázquez; A Terminiello & M García. 2006. Movimiento descendente de bases en un suelo tratado con correctores de la acidez y yeso. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22/9. Salta, Argentina.

Junta de Extremadura. 1992. Diagnóstico nutricional. Ed. Mundi Prensa, 205-209. Madrid.

Lanfranco JW. 1970. Carta de suelos de la estación experimental J. Hirschon de la FCAyF/UNLP. Inédito.

Lemenih, M; E Karltunb & M Olssonb. 2004. Assessing soil chemical and physical propert y responses to deforestation and subsequent cultivation in small holders farming system in Etiopía. *Agric. Ecosyst. & Environ.* 81: 103-112.

Malavolta, E; GC Vitti & SA Olivera. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: principios e aplicaçoes. 2ed. Asociaçao Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, Brasil. 319 p.

Mendenhall W; R Scheaffer & D Wackerly. 1986. Estadística matemática con aplicaciones. Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, California, USA 751 p.

Mora, M & R Demanet. 1999. Uso de enmiendas calcáreas en suelos acidificados. *Frontera Agrícola* (Chile) 5(1-2): 43-58.

Morón, A. 2000. Alfalfa: fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 8: 1-6.

SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina). Dirección de Producción Agrícola. 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMLA).

Schoeneberger, PJ; DA Wysocky; EC Benham & WD Broderson. 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. Versión 1.1. Instituto de Suelos, Centro de Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. Traducción en español del «Field Book for Describing and Sampling Soils», 1998. Centro Nacional de Relevamiento de Suelos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Dto. de Agricultura EEUU, Linconl, Nebraska 9(10) p.

Santos Sbuscio, D; M Vázquez; A Termiello; M Garcia & G Millán. 2009. Determinación de la presencia de aluminio intercambiable en algunos suelos ácidos de la Región Pampeana con y sin enmiendas básicas. Actas Congreso de Ingeniería Rural (CADIR). Rosario, 1-4/9.

Servicio Meteorológico Nacional. 1992. Estadísticas climatológicas 1981-1990. Serie B, 37, 1° ed., Fuerza Aérea Argentina. Comando de Regiones aéreas. Buenos Aires. 694 p.

Tang, C. 1998. Factors affecting soil acidification under legumes I. Effect of potasium supply. *Plant and Soil* 199: 275-282.

Vázquez, ME; E Baridon; J Lanfranco & G Malagrina. 2000. Evaluación de la potencialidad de la problemática de acidez en la región norte de la provincia de Buenos Aires. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 11-14 abril, Mar del Plata, Argentina.

Vázquez, M. 2005. Calcio y Magnesio. Acidez y alcalinidad de los suelos. Cap. 8: 161-188. *En:* Fertilidad de los suelos y Fertilización de Cultivos. H. Echeverría y F. García *(eds)*. Balcarce: Ediciones INTA. 525 p.

Vázquez, M; A Terminiello; A Duhour; M García & F Guilino. 2009. Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la Pradera Pampeana. Asociación con propiedades químicas. *Ciencia del Suelo* 27(1): 67-76.

Zapata Hernández, R. 2004. Química de la acidez del suelo. Cali, Colombia. 208 p.